

SZEMLE

A mikroorganizmusok szerepe a talaj szervesanyagainak szintézisében és elbontásában

A talajba kerülő növényi és állati eredetű szerves anyagok elbontása nem csupán olyan végtermék képződéséhez vezet, mint a CO_2 , víz és ammonia, hanem ezen folyamat eredményeképpen számottevő mennyiségben halmozódnak fel a talajban sötét színű humuszanyagok, melyek döntő befolyást gyakorolnak a talaj sajátosságaira, s ezen keresztül annak termékenységére. Amikor talajról beszélünk — mutat rá WAKSMAN [52] — ezen terminológia alatt a humusz jelenlétét is értjük, mivel a humuszanyagok jelenléte fejezi ki leginkább az ásványi közeteken a termő talaj kialakulását.

WAKSMAN adatai szerint a talajokban és vizekben előforduló humuszanyagok mennyisége jóval nagyobb, mint a föld felszínén és a tengerekben élő növények és állatok szerves anyagai összesen.

A humuszanyagok keletkezése és sajátosságainak problémája már hosszú idő óta foglalkoztatja a talajtan és agrokémia szakembereit, ezért e kérdéssel kapcsolatban rengeteg kísérleti adat halmozódott fel az irodalomban. Ennek ellenére a fennálló kérdések túlnyomó többségét napjainkig még nem sikerült megoldani. A legújabb kutatások eredményeinek alapján a humuszanyagokat úgy kell tekinteni, mint amorf kolloid rendszert, amely a szervesanyagok elbontása által kiváltott biotikus és abiotikus folyamatok eredményeképpen képződik. FEHÉR [11] arra mutat rá, hogy a humusz fogalmát el kell választani a talajszervesanyaga fogalmától, mivel szerinte az utóbbiba beletartoznak a még nem mineralizálódott növényi és állati maradványok is.

Mindenekelőtt tekintsük át a humuszanyagok képződésével kapcsolatos különböző elméleteket. A humusz képződésével kapcsolatban jelentős számú különböző feltételezés látott napvilágot. Ezek a teóriák egymást váltották a humuszkutatásban elért kísérleti eredmények hatására. Kezdetben ezt a kérdést kizárólag kémiai tényezőkkel próbálták magyarázni. MAIL-

LARD [24, 25, 26] szerint a humuszképződés a cukroknak aminosavakkal vagy polipeptidekkel történő kondenzációjának eredménye. BECKLEY [1] a humusz szintézist a furforol kondenzációjával magyarázza, ELLER [9, 10] pedig a benzol-vegyületek oxidációjában látja ezen anyagok képződését. A múlt század utolsó évtizedében kezdetét vette a talajtani tudományoknak egy új ága, a talajmikrobiológia. A talajmikrobiológiai kutatások eredményeképpen előtérbe került a humuszképzés biológiai irányzata. Az egyik ilyen elmélet kidolgozója VILJAMSZ [49] ismert szovjet kutató. VILJAMSZ a humuszsavak három különböző csoportját különbözteti meg, kémiai vizsgálatai alapján. Az első csoportba szerinte a barna színű *ulminsav* tartozik, amely az anaerob baktériumok tevékenységének eredményeként jött létre. A második csoportba a fekete színű *huminsavat* sorolja, amely VILJAMSZ szerint az aerob baktériumok életműködésének a terméke, míg a harmadik csoportba sorolt szintelen *krénsavat* a gombák anyagcseretermékeinek tartja. A huminsavat VILJAMSZ feltételezései szerint a mikroorganizmusok könnyen le tudják bontani és így a megkötött tápelemeket felszabadítják a növények számára. Az *ulminsav* igen ellenálló a mikrobiológiai hatásokkal szemben. Ez utóbbi a Ca ionokkal reakcióba léphet s *ulminná* alakulhat, amely összeceMENTEZI a talajmorzsákat és a talaj tartós morzsás szerkezetét biztosítja. A vízben jól oldódó krénsav gyorsan kimosódik a talajból, tehát ott szerepe igen korlátozott. VILJAMSZ humuszképződési elmélete rendkívül érdekes, azonban — bár történtek kísérletek — a különböző humuszsavaknak a különböző mikroorganizmus csoportok által történő szintézisét nem sikerült kísérleti adatokkal alátámasztani. VILJAMSZ elgondolásából kiindulva GELCER [16] hipotézist állított fel, amely szerint a humusz az elpusztult mikroszervezetek autolizálódó sejtjei és élő mikroorganizmusok anyagcseretermé-

kei kölcsönhatásának az eredménye. Egyet kell értenünk FJODOROVVAL [12]; ez a feltevés nem teljesen megalapozott, mivel nem ad felvilágosítást arra nézve, hogy a humusz C:N aránya miért mondható nagyjából állandónak függetlenül az éghajlati és talajviszonyoktól.

A másik igen elterjedt elmélet a világhírű orosz származású amerikai mikrobiológus WAKSMAN [53] nevéhez fűződik. Szerinte a könnyen lebomló növényi anyagok (cellulóz, hemicellulóz, pektin) kevésbé jelentős szerepet visznek a humuszanyagok talajbeli szintézisében, s ezek forrásaként a talajban egyrészt a növényi anyagok ligninjét, másrészt a mikroorganizmusok sejtjeinek proteinjét kell tekinteni.

A humuszképződés terén széles körben ismert KONONOVA [18] munkássága. ALEK-SZANDROVÁVAL [19] közösen végzett vizsgálataik szerint az *Aspergillus niger*, valamint egy meg nem határozott *Penicillium* sp. savanyú jellegű, nagy molekulásúlyú aromatikus vegyületeket szintetizálnak, amelyek hidrolízisekor savanyú közegben 16 különböző aminosav mutatható ki. Ezek a vegyületek, amelyek feltehetően a fenoloxidáz katalitikus hatásának következtében jönnek létre, a szerzők szerint a humuszanyagok kondenzációjának kezdeti stádiumát képezhetik. KONONOVA szerint ugyanis a humusz képzésében első sorban a fenol típusú aromatikus vegyületek vesznek részt. Szerinte ilyen anyagok forrásai a talajban előforduló tanninanyagok, melyeket a növényi maradványok tartalmaznak. A humuszképződés későbbi stádiumába bekapcsolódhatnak az oldható polifenolok, amelyek a növényi maradványok ligninfrakciójának elbontása során képződnek. E két vegyületcsoport együttesen alkotja a humuszsavak első komponensét, a gyűrűs vegyületekből álló szénkomponenst. A nitrogénkomponens KONONOVA szerint a különböző baktériumok autolizálódó sejtjeinek proteinjéből tevődik össze. E két komponens a talajmikroorganizmusok oxidációs fermentjeinek hatására reakcióba lép egymással.

FJODOROV [12] rámutat, hogy KONONOVA humuszképződési elméletében vannak nehezen magyarázható részek. Így pl. nem világos, hogy pontosan milyen komplexusok lépnek reakcióba a baktériumok lízált plazmájával és képeznek vele olyan komplexust, amely nemcsak meghatározott C:N aránnyal rendelkezik, továbbá nemcsak tartós morzsás szerkezetet biztosít a talajnak, hanem rendkívül ellenálló a mikro-szervezetekkel szemben is.

KONONOVAHOZ hasonlóan ugyancsak a fenolanyagok szerepét hangsúlyozza a humuszanyagok szintézisében a másik ismert

humuszkutató, a német FLAIG [13] is. FLAIG a fenolok fermentatív dehidratációja során kémiai természetűen a humuszanyagokhoz közlelálló vegyületeket kapott.

SCHEFFER [34] véleménye szerint a különböző gombák és sugárgombák által képzett sötét színű pigmentanyagok, amelyek kinongyűrűvel rendelkeznek, polimerizálódhatnak, s ez a folyamat a humuszképződéshez vezet. PLOTTO [29] az *Aspergillus niger* nevű gomba tenyésztéséből oxinaftokinont választott ki, amely szerinte NH_4NO_3 jelenlétében humuszanyagokká alakul át. LAATSCH [22] kísérletei ugyancsak azt igazolják, hogy egyes szaprofita talajgombák a cellulóz és hemicellulóz elbontása során jelentős mennyiségben termelnek kinon vegyületeket. Más szerzők az ilyen vegyületek szintézisében a sugárgombáknak tulajdonítanak alapvető szerepet.

RUDAKOV [32] szovjet talajmikrobiológus más oldalról próbálta megközelíteni a humuszképzés bonyolult folyamatát. Szerinte a humusz az élő növény fejlődése közben képződik, mivel annak gyökérzete kölcsönhatásban van a protopektináz enzimet szintetizáló mikroorganizmusokkal. RUDAKOV szerint a humusz ugyancsak két különböző komponensből tevődik össze. Az egyik komponens poliuronid vegyületekből áll, amelyek a növényi pektin hidrolízisének a termékei. A másik komponens a baktériumok által szintetizált és a talajba kiválasztott protein anyagok képezik. RUDAKOV teóriája szerint a két komponens egymásra hatásának következtében ún. uroonproteid vegyületek képződnek, amelyek a kifagyasztás hatására, illetve a Ca^{2+} ionokkal reakcióba lépve erősen cementáló tulajdonsággal rendelkeznek. Ennek alapján RUDAKOV aktív humusznak nevezi az olyan humuszt, amely tartós szerkezetet hoz létre a talajban. Ez a feltételezés, bár rendkívül érdekes, azonban ugyancsak nem ad választ az előbbiekben felvetett problémákra.

Az elmondottakból világosan látszik, hogy az egyes szerzők különböző kémiai, biológiai és biokémiai elméleteket dolgoztak ki, a humuszanyagok szintézisét illetően, azonban egyik sem rendelkezik elfogadható kísérleti anyaggal ahhoz, hogy ezt a bonyolult kérdést megoldottnak lehessen tekinteni. Az minden kétségen felül áll, hogy a humusz a mikro- és makroorganizmusok kölcsönhatásának a terméke, azonban az, hogy milyen biológiai és biokémiai folyamatok vezetnek szintéziséhez, nincs kísérleti adatokkal elfogadhatóan alátámasztva. Ugyancsak kevésbé ismert a humusz kémiai felépítése is.

Mint ismeretes, a humuszanyagok eléggé stabil C:N aránnyal rendelkeznek.

Általában a humusz C : N aránya 9 : 1—11 : 1 között változik az éghajlati és talajviszonyoktól függően. FJODOROV [12] szerint a talaj humuszanyagainak 70—80%-a a humuszsavakból tevődik össze, csupán 20—30% esik az u. n. oldhatatlan részre. A humuszsavak nagymolekulájú vegyületek, amelyek a talajból lúg segítségével extrahálhatók. A lúgban oldatba menő humuszsavakat savakkal csapják ki.

SCHAEFFER és WELTE [35] német kutatók szerint a humuszanyagokat két fő csoportba lehet sorolni. Az egyik csoportot a mikrobák által nehezen megtámadható tartós humusz (Dauerhumus) képezi, a másik csoportot pedig azok a humuszanyagok alkotják, amelyeket a mikroszervezetek könnyen mineralizálni tudnak. SCHAEFFER ezt a humuszfrakciót táphumusznak (Nährhumus) nevezi. LAATSCH [22] a humuszanyagok három különböző csoportját különbözteti meg attól függően, hogy azok a polimerizáció alacsonyabb vagy magasabb fokán vannak. Az első csoportot előhumusznak (Huminsäurevorstufe) nevezi. Az ide tartozó vegyületek híg lúgban oldódnak, de savak hatására ki nem csapódó fulvó- és krénsavakból állnak. Ehhez a csoporthoz tartozik ezenkívül a NaOH-ban oldódó, kénsavval ki nem csapható és brómacetilben oldódó humoligninfrakció is. A podzol talajokban nagy mennyiségben előforduló fulvosavak kromatográfiai úton négy komponensre oszthatók: 1. aminosavakra, 2. poliszahariduronidokra, 3. polifenolokra, 4. foszfort és nitrogént tartalmazó pentóz-származékokra. A humoligninfrakció, amely összetételben közel áll a ligninhez, főleg a savanyú, lassan mineralizálódó humuszban fordul elő számottevő mennyiségben.

LAATSCH a második csoportba sorolja a valódi humuszsavakat. Ezek brómacetilben nem oldódnak, azonban jól oldódnak híg NaOH oldatban, amelyből kénsav segítségével kicsaphatók. Az említett szerző (LAATSCH [22]) valamint, SPRINGER és LEHNER [39], SCHAEFFER és WELTE [35] a humuszsavakat is két típusra osztják. A barna humuszsavakhoz azon humuszsavakat sorolják, amelyeknek a nitrogéntartalma viszonylag alacsony, gyengén kötődnek meg az agyagfrakciókon, Ca^{2+} hatására nehezen flokulálódnak és vörösesbarna festékanyagot tartalmaznak. Általában a gyengén savanyú, gyorsan mineralizálódó humuszanyagok tartoznak ide. A másik csoporthoz az ún. szürke humuszsavakat sorolják. A szürke humuszsavak gazdagok nitrogénben. Az agyaggal erősen megkötődnek, Ca hatására könnyen flokulálódnak, színük sötétszürke. Általában a csernozjomokban és a mézskövön kialakult rendszere talajokban fordulnak elő számottevő

mennyiségben. A barna humuszsavakkal ellentétben a szürke humuszsavak jól oldódnak ammóniumoxalátban.

Az említett szerzők a harmadik csoportba sorolják az ún. huminanyagokat, amelyek az említett oldószerekben nem oldódnak és magasfokú polimerizációjukban különböznek az előbbiektől.

DUCHAUFOR [8] vizsgálatai is arra hívják fel a figyelmet, hogy a természetben előforduló humuszanyagok polimerizációs foka élesen eltér egymástól. BREMNER [3, 4] volt az első kutató, akinek szoros kapcsolatot sikerült kimutatni a humuszanyagok szerves szén- és szerves nitrogénvegyületei között. Megállapítása szerint, amelyet később más szerzők is igazoltak, a humusz nitrogénvegyületeinek egyharmada fehérje vagy peptid természetű vegyületekből tevődik össze. A fehérjefrakció összetételét több szerző tanulmányozta. Papírkromatográfiai vizsgálataik során kb. húsz különféle aminosavat sikerült azonosítani. Egyes talajok humuszanyagaiból ezenkívül glukozamint, valamint a metionin oxidált származékát különítették el.

A humusz nitrogénvegyületeinek másik része (kb. 30%) savaknak és lúgoknak ellenálló oldhatatlan vegyületek formájában van jelen. Feltételezhető, hogy ez a nitrogén beépül a humuszkomponensek heterociklikus vegyületeibe. Egyes szerzők (MATTSON és KOUTLER-ANDERSON [27]) azt feltételezik, hogy a hidrolízisnek ellenálló nitrogénvegyületek egy része a lignin hidroxil csoportjaival komplex vegyületeket alkotó ammónianitrogénből áll. Az említett vegyületeken kívül WRENSHALL [54, 55], és BOWER [2] nukleinsavakat és nukleotidákat, STEWART, KEYES és ANDERSON [40], HAMENCE [17] és SCHMIDT [36, 37] auxinok jelenlétét mutatták ki a talajban. LILLY és LEONINAN [23], KRASZILNIKOV [20], ROULET [33], SCHMIDT és STARKEY [37], SZEGI [41, 42] valamint SZEGI és GÜLYÁS [44] pedig különböző vitaminok jelenlétét észlelték a talajban. A vitaminok jelentős része, mint ahogy GEBGARDT [15] és más szerzők vizsgálatai rámutattak, a talaj ásványi és szerves kolloidjainak felületén kötött állapotban fordul elő, és jóval kevesebb a talajoldatban előforduló vitamin.

SCHREINER és SHOREY [38] szerint a savakban és lúgokban oldható fulvosavak nitrogénje nukleinsavakba beépülve van jelen. BREMNER [3, 4] adatai azt mutatják, hogy a hidrolízis által a fulvosavakból felszabaduló nitrogénvegyületek 20—30%-a aminosav. Ezen aminosavak közül nagy mennyiségben van jelen β -alanin, viszont a kimutatható aszparagin és lizin mennyisége rendkívül csekély. FORSYTH [14] a fulvó-

savakban uron csoporthoz tartozó polisaharidák jelenlétét állapította meg.

A humusz tehát mint a fentiekből is látható, rendkívül bonyolult heterogén komplexusból tevődik össze. Nem csoda tehát, hogy a különböző szerzők sok, gyakran egymásnak ellentmondó feltevésekből indulnak ki. DEHERAIN [6] volt az első kutató, aki feltételezte, hogy a humusz lignin- és fehérjekomponensekből tevődik össze. Ezt a feltételezést a későbbiek folyamán teljes mértékben alátámasztották WAKSMAN [52], WAKSMAN és IYER [53] valamint TINSLEY és ZIN [47] adatai is. WAKSMAN szerint azt a nagyszámú szerves komponenst, amelyből a humusz összetevődik, két alapvető csoportra lehet felosztani. Az egyik csoport, amely a humusznak kb. 40%-át teszik ki, ligninből illetve annak származékaiból tevődik össze, míg a másik csoportot, amely kb. a humusz 30–35%-át alkotja, fehérjék képezik. Ezenkívül WAKSMAN szerint a humusz tartalmaz még cukrokat, szerves savakat, zsírokat és alkoholokat. WAKSMAN feltevéseiből kiindulva több kutató kísérleteket végzett annak tisztázására, hogy a két vegyületcsoport miként kapcsolódik egymáshoz. Vizsgálataik során olyan feltételezéshez jutottak, hogy a humusz fehérjekomponensének aminosóportja kémiai kapcsolatban van a lignin karboxil vagy hidrokáboxil csoportjával. Azonban ez a feltételezés napjainkig kísérleti úton nem nyert bebizonyítást, csupán az tisztázott, hogy a két komponens közötti kötés kémiai.

Mint közismert, a humuszanyagok vízben nem oldódnak, viszont jól oldódnak gyenge lúgokban, amelyekből savakkal kicsaphatók. Fizikokémiai szempontból hidrofíll kolloidoknak tekinthetők, amelyek nagymennyiségű vizet képesek magukba szívni és azt megtartani. Mivel ezek a kolloidok negatív elektromos töltéssel rendelkeznek, ezért a különböző kationokat képesek a felületükön adszorbeálni. A humusz kolloidok savanyú kémhatásúak, mint az agyagkolloidok. Vizes szuszpenziójuk kémhatása pH 2 körül van. Ebből következik, hogy kationkicsérélő tulajdonságuk igen magas fokú és komplexusokat tudnak képezni a talaj ásványi frakcióival.

Mint már említettük a talaj szervesanyagai állandó mozgásban vannak, szintetizálódnak és mineralizálódnak. Mindkét folyamat a mikroszervezetek tevékenységének eredményeképpen megy végbe. Mindkét folyamat egyidejűleg történik, sőt mint a későbbiekben látni fogjuk, kölcsönhatásban vannak egymással. Ez eredményezi azt, hogy a természetben bizonyos körülmények között egyensúlyi

állapot áll fenn a humusz szintézise és mineralizációja között.

POCHON és DE BARJAC [30] a humusz szintézisét befolyásoló tényezőket két csoportra osztják. Az egyik csoporthoz a belső, a másikhoz pedig a külső tényezőket sorolja. A belső tényezőket szerinte az elbontandó szervesanyag összetétele, valamint a humuszképzésben résztvevő mikroszervezetek faji összetétele alkotja; WALKER [51] kutatásai arra hívják fel a figyelmet, hogy az elbomló növényi maradványok kémiai összetétele befolyásolja a humusz minőségét. Amennyiben ligninben szegény növényi maradványok kerülnek a talajba, a képződő gyengén savanyú kémhatású humusz igen gyorsan mineralizálódik, ellentétben a ligninben gazdag növényi maradványokból képződő humusszal, amely savanyú kémhatású és mineralizációja lényegesen lassabban megy végbe.

A talajba kerülő növényi maradványok elbontását a talaj mikroorganizmusainak bonyolult biocönózisa végzi, tehát a lebontást nem egyik vagy másik mikroszervezet határozza meg, hanem az egymás produktumait felhasználó organizmusok egész sora. A mineralizáció kezdeti stádiumában a könnyen felvehető oldható cukrok, majd a keményítők használatnak fel a mikroorganizmusok által a mineralizálandó anyagból. Ugyancsak gyorsan elbontják a mikroszervezetek a növényi anyagokban előforduló szerves savakat és alkoholokat. Valamivel lassabban megy végbe a hemicellulóz, valamint a pentozánok és a galaktánok hidrolízise.

A fenti vegyületeknél lassabban megy végbe a pektin és a cellulóz mineralizációja és kevesebb azon mikroba fajok száma is, amelyek ezeket a vegyületeket szénforrásként értékesíteni képesek. Több kutató feltételezi, hogy a cellulóz aerob elbomlásának termékeit felhasználják olyan mikroszervezetek is, amelyek közvetlen kapcsolatban vannak a humuszanyagok szintézisével. Több szerző közölt adatokat (POCHON és TCHAN [31], VANDECAVEYE és VILLANUEVA [48], VINTIKA [50], SZEGI és GULYÁS [43] stb.) azzal kapcsolatban is, hogy az aerob cellulózbontó mikroszervezetek anyagcseretermékei táplálékul szolgálnak a légköri nitrogént megkötő *Azotobacter* számára. POCHON és DE BARJAC [30] feltételezi, hogy a cellulózbontó és a nitrogénkötő mikroszervezetek között fennálló kölcsönviszony valamilyen módon kapcsolódik a humuszképzés láncolatához is.

WAKSMAN [52] szerint a humuszban az összes növényi frakciók előfordulnak, azonban azok egymáshoz viszonyított aránya alapvetően más, mint a növényi szövetekben. Az előbbiekhöz viszonyítva erősen le-

csökken a cellulóz- és hemicellulózfrakció aránya, s lényegesen megnövekedik a ligninfrakció, míg a cseersav, zsírok és viaszok mennyisége változatlan marad. A szerzők egy része azonban nem ért egyet WAKSMAN fenti megállapításával.

A humuszképzésben résztvevő tényezőket POCHON és DE BARJAC [30] 4 csoportra osztja: 1. éghajlat, 2. a talaj aerációja, 3. a talaj kémhatása, 4. a talajművelés.

Az éghajlati tényezők közül döntő befolyást gyakorol a talaj hőmérséklete. Legoptimálisabb a 30—35°C-os hőmérséklet, mivel ilyen viszonyok között megy végbe a legintenzívebben a növényi és állati maradványok mineralizációja. A nedvességtartalom a másik alapvető tényező, amely meghatározza az elbontás gyorsaságát. Saját vizsgálataink adatai (SZEGI [41]) azt mutatják, hogy a talaj maximális vízkapacitása 60—80%-ának megfelelő nedvességtartalom a legoptimálisabban befolyásolja a talajba vitt szalma mineralizációját. Abból kiindulva, hogy a biológiai folyamatok kölcsönhatásban vannak egymással és kiegyenlítik egymást, POCHON és DE BARJAC [30] feltételezik, hogy a humifikációra ugyanazok a klimatikus tényezők kedvezőek, mint amelyek előnyösen befolyásolják a mineralizációs folyamatokat. Trópusi viszonyok POCHON szerint ilyen szempontból ugyanúgy kedvezőtlenek, mint a hideg klímájú területek, mivel trópusi viszonyok között a mineralizáció gyorsabban megy végbe, mint a szintézis, ezáltal a humusztartalom csökken. Hideg éghajlati viszonyok között a mikrobiológiai tevékenység kevésbé intenzív, a humifikációs folyamat igen lassú, s a nem humifikálódott szerves anyag nagy mennyiségben halmozódik fel a talajban.

A talaj aerációja ugyancsak döntő tényező a benne végbemenő biológiai folyamatok szempontjából. Amennyiben ugyanis az aeráció rossz, meglassul a mineralizáció és vele együtt a humuszanyagok szintézise is, és a nem humifikálódott növényi eredetű szervesanyag számottevő mennyiségben halmozódik fel a talajban.

A talaj kémhatásának a humusz szintézisre gyakorolt hatását már korábban érintettük. A Ca-ban gazdag, semleges kémhatású talajban főleg ún. szürke humusz-savak képződnek. Ez a humuszsav jelentős mennyiségű amid nitrogént, valamint kinon vegyületeket tartalmaz. A gyengén savanyú talajokban legnagyobb mennyiségben a barna humuszsavak fordulnak elő, amelyek kevesebb amid nitrogént és kinonvegyületet tartalmaznak. C : N arányuk tágabb, ligninben gazdagabbak, s kevésbé képesek tartósan megkötni az ásványi kolloidokat. A bázisokkal telítetlen erősen savanyú

talajokban a humuszkomplexum igen szegény nitrogénben, C : N aránya megközelíti a 20 : 1-et. Az ilyen humusz jelentős mennyiségben tartalmaz lignint majdnem változatlan összetételben.

A fenti adatok világosan mutatják, hogy a talaj típusa jelentős befolyást gyakorol a benne képződő humusz kémiai sajátosságaira. Ugyancsak befolyásolja a talaj humuszanyagainak szintézisét az alkalmazott agrotechnika is. Amennyiben ugyanis a talajba nem kerül megfelelő mennyiségű növényi maradvány vagy istállótrágya, a mineralizáció és a szintézis közötti egyensúly felborul, a humusztartalom fokozatosan csökken, ami végeredményben a talaj termékegységének csökkenését eredményezi.

A humuszanyagok mineralizációja ugyancsak felkeltette a kutatók érdeklődését, mivel e folyamat eredményeként szabadulnak fel a humuszkolloidokba beépült tápelemek s válnak felvehetővé a mezőgazdasági növények számára. A humusz elbontását ugyanúgy mint annak szintézisét különböző külső és belső faktorok határozzák meg. Az elbontás intenzitása függ a humusz kémiai sajátosságaitól valamint a mineralizációt végző mikroorganizmusok aktivitásától. VINOGRADSKIJ, aki először foglalkozott mikrobiológiai szempontból ezzel a kérdéssel, feltételezte, hogy ebben a folyamatban egy speciális *autochton* mikroflóra vesz részt, amelynek tagjai humusszal táplálkoznak. A humuszanyagok elbontásával foglalkozó kutatók egy része a talaj CO₂ termelésének intenzitásából kiindulva próbált következtetéseket levonni a humuszanyagok mineralizációját illetően, feltételezve azt, hogy a felszabaduló CO₂ — amennyiben a talaj más széntartalmú szerves vegyületeket nem tartalmaz — a mineralizáció eredményeként képződik. Rádióaktív szénrel végzett legújabb kísérletek adatai arra hívják fel a figyelmet, hogy a könnyen mobilizálható szervesanyagok (pl. glukóz) talajba vitele elősegítheti a viszonylag nehezen lebontható humusz mineralizációját is.

A kutatók másik csoportja más oldalról próbálja megközelíteni ezt a bonyolult kérdés-komplexumot. Kémiai úton a talajból humuszanyagokat vonnak ki, illetve a humuszsavak komponenseihez szerkezetükben hasonló vegyületeket (vanillin, piperidin stb.) mineralizációját vizsgálják. KÜSTER [21] megfigyelése szerint egyes baktériumok képesek felhasználni a humuszsavakhoz szerkezetükben hasonló egyes vegyületeket. Feltételezi, hogy ezek a baktériumok szerepet visznek a humusz elbontásában is. MISUSZTIN [28] viszont azt feltételezi, hogy a sugárgombáknak

van alapvető szerepük a humusz mineralizációjában. TEPPER [46] szerint a humuszt elsősorban a proactinomyeták képesek elbontani. DIDIER és SAINT AMAND [7] egy *Actinomyces* törzset, valamint különböző baktériumokat választott ki a talajból, amelyek elbontották a szilikagél lemezre vitt humátokat. NIKITIN szovjet kutató folyékony táptalajba vitt be oldott állapotban humuszsavakat és azt különböző baktériumok, gombák és sugárgombák tiszta tenyészetével oltotta be. Megállapította, hogy a legintenzívebb humusz-bontó szervezetek a *Pseudomonas* genushoz tartozó baktériumok, valamint a sugárgombák közül kerülnek ki.

Munkánk során azt tanulmányoztuk, hogy a cellulózt intenzíven elbontó különböző mikroszkopikus gombák mennyiben képesek a humuszt szén és nitrogénforrásként felhasználni, valamint azt, hogy a kiegészítő szén- és nitrogénforrások miként befolyásolják az elbontás ütemét. Az így beállított tenyészeteket 28° C-os termosztátban 6 hónapon át inkubáltuk, s a humusz mineralizáció ütemét a sötét színű folyadék elszíntelenedése alapján állapítottuk meg. A vizsgálatok eredményei szerint az általunk kísérletbe vont 21 gomba-törzs egyedüli szén- és nitrogénforrásként nem képes a humuszt hasznosítani. Viszont azon variánsok túlnyomó része, amelyhez glukózt vagy cellulózt adtunk, igen intenzíven színtelenítették el a humuszt tartalmazó tápoldatot. Csupán a kiegészítő szénforrásokat tartalmazó kezeléseket váltottak ki ilyen hatást, míg azon variáns esetében, amelyik kizárólag kiegészítő nitrogénforrást tartalmazott (NH_4NO_3) nem figyeltünk meg számottevő humusz-bontást. Ennek alapján feltételezzük, hogy az általunk vizsgált gombák a humuszt elsősorban nitrogénforrásként képesek hasznosítani, azaz annak nitrogéntartalmú komponensét bontják el, és szénforrásként a kiegészítő szervesanyagok szolgálnak. Mivel a talajba állandóan nagy mennyiségben kerülnek növényi gyökér- és szármagmaradványok, azon szervezeteknek is döntő szerepe lehet a humusz mineralizációjánál, amelyek csupán kiegészítő szénforrások jelenlétében képesek azt elbontani.

Az általunk végzett vizsgálatok adatai arra hívják fel a figyelmet, hogy a talajba kerülő és ott mineralizálódó növényi maradványok szerepe a talaj humuszanyagának elbontása és szintézise szempontjából sokkal bonyolultabb és sokoldalúbb, mint korábban feltételezték. Minden alapunk megvan annak feltételezésére, hogy a különböző talajmikroorganizmusok, amelyek a növényi maradványok elbontásában résztvesznek, tehát anyagesetermékeiken

keresztül komponenseket biztosítanak a humuszanyagok szintéziséhez, valamilyen módon bekapcsolódnak a talaj már meglevő humuszanyagainak mineralizációjába is.

A humusz mezőgazdasági jelentősége rendkívül fontos. A humuszkolloidok, mint közismert, különböző kationok, elsősorban Ca^{2+} hatására képesek tartósan összeragasztani a talajrészecskéket. SWABY [45] vizsgálatai szerint elsősorban a huminfrakció rendelkezik ezzel a sajátossággal, míg a fulvósavak cementáló tulajdonsága jelentősen kisebb. Ennek alapján SWABY feltételezi, hogy a ragasztó tulajdonságot elsősorban az amidpoliuronidok, fehérjék, poliszaharidok és a lignin jelenléte váltják ki. A talaj szerkezete határozza meg a levegő és vízgazdálkodást, amely a termékenység egyik alapvető tényezője. Ezenkívül a humusz, mint sötétszínű anyag, a talaj hőmérsékletét is befolyásolja, mivel elnyeli a napsugarakat.

A fizikai sajátosságokon kívül a humusz kémiai szempontból is befolyásolja a talaj termelékenységét. Mint kolloid tulajdonságú anyag megköti a növényi tápanyagokat és megakadályozza azok kimosódását a csapadék által. CHAMIDE, SEGLEN és VISTELLE [5] szerint a talaj humusztartalmanak fokozásával párhuzamosan növekedik annak felvehető foszfortartalma.

A fentiekén kívül a humusz biológiai szempontból is befolyásolja a talajban végbemenő folyamatokat. Mivel szén és nitrogénforrást tartalmaz, tápláléklul szolgál a talajmikroorganizmusok részére és egyidőben kedvezően befolyásolja a magasabbrendű növények növekedését. Feltételezhető, hogy mind közvetve, mind közvetlenül befolyásolja az előbbieket táplálkozását. Közvetlenül azáltal, hogy a mineralizáció során felszabaduló ásványi sókat a növények tápanyagként hasznosítják, közvetve pedig azzal, hogy a humuszkolloidok felületén adszorbeált auxinok, vitaminok és egyéb stimuláló anyagok fontos szerepet játszhatnak a növény életében, miután az, gyökérrendszerén keresztül felvette azokat.

Irodalom

- [1] BECKLEY, V. A.: The formation of humus. *J. Agric. Sci.* **11**. 69. 1921.
- [2] BOWER, C. A.: Studies on the forms and availability of soil organic phosphorus. *Iowa Agric. Expt. Sta. Res. Bull.* **362**. 963. 1949.
- [3] BREMNER, J. M.: The nature of soil-nitrogen complexes. *J. Sci. Food Agric.* **3**. 497. 1952.
- [4] BREMNER, J. M.: Studies on soil organic matter. I. The chemical nature of

- soil organic nitrogen. *J. Agric. Sci.* **39**. 183. 1949.
- [5] CHAMINADE, R., SEGALEN, P. & VISTELLE, R.: Influence de l'humus sur l'évaluation de l'acide phosphorique dans un sol latéritique. *Ann. Agron.* **17**. 530. 1947.
- [6] DEHERAIN, P. P.: *Traité de chimie agricole*. 2. Ed. Dunod. Paris. 1902.
- [7] DIDIER, R. & DE SAINT AMAND, R.: Contribution to a study of degradation of humus by soil microorganisms. VI^e Congr. int. Sci. Sol Rapp. III. C. 425. 1956.
- [8] DUCHAUFOR, PH.: The properties of humic complexes in different types of soil. *Ann. Éc. Eaux For. Nancy* **14**. 41. 1954.
- [9] ELLER, W.: Künstliche und natürliche Huminsäuren. *Liebig's Ann. Chem.* **133**. 1923.
- [10] ELLER, W.: Künstliche und natürliche Huminsäuren. *Liebig's Ann. Chem.* **160**. 1925.
- [11] FEHÉR, D.: *Talajbiológia*. Akadémia Kiadó. Budapest. 1954.
- [12] FJODOROV, M. V.: *Pocsvennaja mikrobiologija*. Szovj. Nauka. Moskva. 1954.
- [13] FLAIG, W.: Zur Chemie der Huminsäuren und deren Modellsubstanzen. VI^e Congr. int. Sci. Sol Rapp. II. 10. 471. 1956.
- [14] FORSYTH, W.: Studies on the more soluble complexes of soil organic matter. *J. Biochem.* **41**. 176. 1947.
- [15] GEBGARDT, A. G.: Rol' mikroorganizmov v nakoplenii vitaminov v pocsvah i posztuplenii ih v rasztienija. *Tr. Inszt. Mikrobiol.* **11**. 292. 1961.
- [16] GEL'ZER, J. F.: Znacsenie mikroorganizmov v obrazovanii peregnaja i procesnoszti sztrukturü pocsvü. *Szel'hozgiz. Moskva*. 1940.
- [17] HAMENCE, J. H.: The determination of auxins in soil, including a note on synthetic growth substances. *The Analyst* **71**. 111. 1946.
- [18] KONONOVA, M. M.: Problema pocsvennogo gumusza i szovremennüe zadacsi ego izucszenija. *Izd. AN SSSR. Moskva*. 1951.
- [19] KONONOVA, M. M. & ALEKSZANDROVA, J. V.: The biochemistry of the process of formation of humic matter. VI^e Congr. int. Sci. Sol Rapp. C. 133. 1956.
- [20] KRASZIL'NIKOV, N. A.: Mikroorganizmü pocsvü i vüszsie rasztienija. *Izd. AN SSSR. Moskva*. 1958.
- [21] KÜSTER, E.: Umwandlungen von Mikroorganismen-Farbstoffen in Humusstoffe. *Z. PflErnähr. Düng.* **57**. 51. 1952.
- [22] LAATSCH, W.: Untersuchungen über die Bildung und Anreicherung von Humusstoffen. *Ber. Landtechn.* **4**. 31. 1948.
- [23] LILLY, V. & LEONINAN, L.: Vitamin in soil. *Science* **89**. 292. 1939.
- [24] MAILLARD, L.: Formation d'humus et de combustibles minéraux sans intervention de l'oxigène atmosphérique des microorganismes de hautes températures ou de fortes pressions. *C. R. Acad. Sci.* **155**. 1554. 1912.
- [25] MAILLARD, L.: Formation d'humus et de combustibles minéraux sans intervention de l'oxigène atmosphérique des microorganismes de hautes températures ou de fortes pressions. *C. R. Acad. Sci.* **156**. 1159. 1913.
- [26] MAILLARD, L.: Synthèse des matières humiques par action des acides aminés sur les sucres réducteurs. *Ann. Chim. Phys.* **5**. 258. 1916.
- [27] MATTSO, S. & KOUTLER-ANDERSON, E.: The acid-base condition in vegetation. Litter and humus. *Ann. Agric. Coll. Sweden* **11**. 107. 1943.
- [28] MISUSZTIN, E. N.: The science of microbial associations in soil and its development. VI^e Congr. int. Sci. Sol Rapp. C. 87. 1956.
- [29] PLOTHO, O.: Weitere Untersuchungen zur Humusbildung der Mikroorganismen. *Z. PflErnähr. Düng.* **55**. 151. 1951.
- [30] POCHON, J. & DE BARJAC, H.: *Traité de microbiologie de sol*. Applications agronomiques. Dunod. Paris. 1958.
- [31] POCHON, J. & TCHAN, Y. T.: Humus and the biology of soil. *Rev. Génér. Bot.* **57**. 321. 1950.
- [32] RUDAKOV, K. I.: Obrazovanie gumusza v processze razvitija rasztienij. *Tr. jubiln. szesszii poszvjascsennoj sztoletiju szo dnja rozdsenija V. V. Dokucsaeva. Izd. AN SSSR. Moskva*. 1945.
- [33] ROULET, M.: Recherches sur les vitamines du sol. *Experientia* **4**. 149. 1948.
- [34] SCHEFFER, F.: Recent work in humus research. *Transact. 5th Int. Congr. Soil Sci.* **1**. 208. 1954.
- [35] SCHEFFER, F. & WELTE, E.: Über Ziele und Wege der modernen Huminstoff-Forschung. *Trans. int. Soc. Soil Sci. Comm.* II IV. 1952. **2**. 29. 1953.
- [36] SCHMIDT, E.: Soil microorganisms and plant growth substances. I. History. *Soil Sci.* **71**. 129. 1951.
- [37] SCHMIDT, E. & STARKEY, R.: Soil microorganisms and plant growth substances. II. Transformations of certain B vitamins in soil. *Soil Sci.* **71**. 221. 1951.

- [38] SCHREINER, O. & SHOREY, E. C.: Chemical nature of soil organic matter. US Dept. Agric. Bur. Soils Bull. 74. 1910.
- [39] SPRINGER, U. & LEHNER, A.: Stoffabbau und Humusabbau bei der aeroben und anaeroben Zersetzung landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich wichtiger organischer Stoffe. Z. Pflernähr. Düng. **58**. 193. 1952.
- [40] STEWART, W. S., KEYES, M. G. & ANDERSON, M.: Extraction of auxin from virgin soils. Soil Sci. **53**. 299. 1942.
- [41] SZEGI, J.: A nedvesség hatása a cellulóz elbontására egyes hazai talajainkban. Agrokémia és Talajtan. **11**. 105. 1962.
- [42] SZEGI, J.: A különböző növényi anyagok hatása néhány B csoportozhoz tartozó vitamin szintézisére a talajban. Agrokémia és Talajtan **15**. 523–531. 1966.
- [43] SZEGI, J. & GULYÁS, F.: Egyes cellulózbontó mikroorganizmusok anyagcsere-termékeinek hatása az Azotobacter légzésére, valamint a lucernamagvak csírázására. Agrokémia és Talajtan **12**. 99. 1963.
- [44] SZEGI, J. & GULYÁS, F.: Adatok egyes vitaminoknak a talajban történő felhalmozódásához. Agrokémia és Talajtan **13**. 281, 1964.
- [45] SWABY, R. J.: The influence of humus on soil aggregation. J. Soil Sci. **2**. 182. 1950.
- [46] TEPPER, J. Z.: Ucsesztie mikroorganizmov v aerobnom razlozsenii jarovoj szolomü i obrazovanie pri etom gumuszopodobnüh vcsesestv. Poesvovedenie (3) 175. 1949.
- [47] TINSLEY, J. & ZIN, M. K.: The isolation of ligno-protein from soil. Trans. 5th Congr. Int. Soil Sci. **2**. 342. 1954.
- [48] VANDECAVEYE, S. C. & VILLANUEVA, B. R.: Microbial activities in soil I. Nitrogen fixation by Azotobacter and activity of various groups of microbes in Palouse silt loam. Soil Sci. **38**. 191. 1934.
- [49] VILJAMSZ, V. R.: Poesvovedenie. Szel'hozgiz. Moszkva. 1947.
- [50] VINTIKA, J.: Prispevek ke studiu symbios azotobactera. Českoslov. biol. **2**. (2) 1953.
- [51] WALKER, T. W.: The accumulation of organic matter in grassland soils. VI^o Congr. int. Sci. Sol Rapp. B. 409. 1956.
- [52] WAKSMAN, S. A.: Humus. Williams & Wilkins. Baltimore. 1936.
- [53] WAKSMAN, S. A. & IYER, K. R. N.: Contribution to our knowledge of the chemical nature and of the origin of humus I. Soil Sci. **34**. 43. 1932.
- [54] WRENSHALL, C. L. & MCKIBBIN, R. R.: The nature of the organic phosphorus in soils. Canad. J. Res. **B. 15**. 475. 1937.
- [55] WRENSHALL, C. L. & DYER, W. J.: Organic phosphorus in soils. The nature of the organic phosphorus compounds. A. Nucleic acid derivatives. B. Phytin. Soil Sci. **51**. 235. 1941.

SZEGI JÓZSEF

Érkezett: 1966. január 12.